



การศึกษาลักษณะการตัดมุมของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ90 องศา
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟ

Characterization study of a 90° Microstrip Bend
for enhancement of microwave device

โดย

นางสาวปทุมวดี	แก้วดี	รหัสนักศึกษา B4709084
นางสาวสุวรรณ	ประดิษฐ์รา	รหัสนักศึกษา B4713043

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 วิศวกรรมโทรคมนาคม

และวิชา 427494 ศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2550

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ	การศึกษาลักษณะการคัดมุมของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟ (Characterization study of a 90° Microstrip Bend for enhancement of microwave device)		
โดย	นางสาวปทุมวดี แก้วดี	รหัสนักศึกษา B4709084	
	นางสาวสุวรรณา ประดิษฐ์รา	รหัสนักศึกษา B4703143	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์.ดร.มนต์ทิพย์ภา อูทาสกุล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษาที่	1 และ 2/2550		

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และส่วนมากจะมีลักษณะที่เป็นมุมหักงอ 90 องศา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ

โครงการนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานในเทคโนโลยีไมโครเวฟ และทำการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทำการศึกษาแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา และทำการทดสอบทฤษฎีการคัดมุมของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องการศึกษาลักษณะการตัดมุมของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับช่วยเหลือด้านต่างๆ จากคณาจารย์และบุคคลหลายท่านดังต่อไปนี้

อ.ดร.มนต์ทิพย์ภา อูซารสกุล สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและดูแลการทำโครงการอย่างใกล้ชิดมาตลอดการทำโครงการ

อ.ดร.พีระพงษ์ อูซารสกุล สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ช่วยให้คำปรึกษาให้คำแนะนำ และดูแลการทำโครงการร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อ.ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำแนะนำเรื่องการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำใคร่ขออภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวปทุมวดี แก้วดี

นางสาวสุวรรณา ประดิษฐ์รา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ไมโครสตริป 50 โอห์ม	3
2.3 ข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา	5
2.4 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ	11
2.5 การแสดงลักษณะเฉพาะของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา และที่มีการตัดมุม	12
2.6 สรุป	14
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	15
3.1 บทนำ	15
3.2 การออกแบบ และการสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม	15
3.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม	15
3.2.2 การออกแบบ การสร้างไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ	17
3.3 ข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา	23
3.4 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ	26
3.5 สรุป	27
บทที่ 4 การทดสอบทฤษฎีการตัดมุม	28
4.1 บทนำ	28
4.2 การทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริปทางภาคปฏิบัติ	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริป 50 โอห์ม	29
4.2.2 การทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ	30
4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติของข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา	32
4.2.4 การทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ	34
4.3 ผลการทดสอบ	37
4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริป 50 โอห์ม	37
4.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ	39
4.3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา	52
4.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ	70
4.4 สรุป	88
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานและข้อเสนอแนะ	89
5.1 บทสรุป	89
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงาน	90
5.3 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	91
ประวัติผู้จัดทำ	92

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์แบบเอบีซีดี ที่เป็นประโยชน์ต่อวงจรสองพอร์ต	9
ตารางที่ 2.2 ตารางการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ระหว่างระบบสองพอร์ต	10
ตารางที่ 4.1 ผลการตัดมุมไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ระยะของการตัด เป็นค่าความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m) ต่างๆ	48
ตารางที่ 4.2 ผลการตัดมุมแบบโค้งของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา	52
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา	70
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ	88

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สายส่งแบบไมโครสตริป (ก) รูปเรขาคณิต (ข) เส้นสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.2 รูปเรขาคณิตของตัวเชื่อมต่อบนรันช์ไลน์	6
รูปที่ 2.3 ตัวเชื่อมต่อบนรันช์ไลน์ในรูปแบบมาตรฐาน	6
รูปที่ 2.4 การสลายตัวของตัวเชื่อมต่อบนรันช์ไลน์ ไปเป็นภาวะการกระตุ้นแบบคู่และคี่ (ก) แบบคู่ (e) (ข) แบบคี่ (o)	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครสตริปแบบ窄สัญญาณ (ก) โครงสร้างแบบ narrow band (ข) โครงสร้างแบบ wide band	11
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Lange Coupler ซึ่งใช้เช่นเดียวกับไมโครสตริปแบบ窄สัญญาณ	12
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของระยะการตัดมุมของไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา	12
รูปที่ 2.8 รายละเอียดของการกำหนดจุดของสนามไฟฟ้าบนสตริปโลหะ	13
รูปที่ 2.9 ค่าขนาดของ S_{11} เทียบกับความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m)	13
รูปที่ 3.1 ไมโครสตริป 50 โอห์ม	17
รูปที่ 3.2 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม	18
รูปที่ 3.3 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.25$	19
รูปที่ 3.4 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.66 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.37$	19
รูปที่ 3.5 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 2.50 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.56$	20
รูปที่ 3.6 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.33 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.75$	21
รูปที่ 3.7 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.89 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.87$	21
รูปที่ 3.8 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้ง	22
รูปที่ 3.9 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งทั้งด้านใน และด้านนอก	22
รูปที่ 3.10 ข้อต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม	25

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 ข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา ที่มีการตัดมุม โดยที่ $x = 1.63 \text{ mm}, d = 6.22 \text{ mm}, m = 0.26$	25
รูปที่ 3.12 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่ไม่มีการตัดมุม	26
รูปที่ 3.13 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณที่มีการตัดมุม โดยที่ $x = 1.63 \text{ mm}, d = 6.22 \text{ mm}, m = 0.26$	27
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)	28
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย	28
รูปที่ 4.3 ไมโครสตริป 50 โอห์ม	37
รูปที่ 4.4 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์ม	38
รูปที่ 4.5 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์ม	38
รูปที่ 4.6 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม	39
รูปที่ 4.7 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม	39
รูปที่ 4.8 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม	40
รูปที่ 4.9 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.25$	41
รูปที่ 4.10 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.25$	41
รูปที่ 4.11 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.25$	42
รูปที่ 4.12 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.66 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.37$	42
รูปที่ 4.13 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.66 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.37$	43
รูปที่ 4.14 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 1.66 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.37$	43
รูปที่ 4.15 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 2.50 \text{ mm}, d = 4.44 \text{ mm}, m = 0.56$	44

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 2.50$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.56$	44
รูปที่ 4.17 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 2.50$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.56$	45
รูปที่ 4.18 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.33$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.75$	45
รูปที่ 4.19 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.33$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.75$	46
รูปที่ 4.20 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.33$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.75$	46
รูปที่ 4.21 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.89$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.87$	47
รูปที่ 4.22 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.89$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.87$	47
รูปที่ 4.23 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่ ระยะ $x = 3.89$ mm, $d = 4.44$ mm, $m = 0.87$	48
รูปที่ 4.24 ค่าขนาดของ S_{11} เทียบกับความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m)	49
รูปที่ 4.25 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้ง	49
รูปที่ 4.26 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งเฉพาะด้านนอก	50
รูปที่ 4.27 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งเฉพาะมุมด้านนอก	50
รูปที่ 4.28 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งทั้งด้านใน และด้านนอก	51
รูปที่ 4.29 แสดงค่า S_{11} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งมีการตัดมุมโค้งทั้งด้านนอกและด้านใน	51
รูปที่ 4.30 แสดงค่า S_{21} ของไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมแบบโค้งมีการตัดมุมโค้งทั้งด้านนอกและด้านใน	52

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.87 แสดงค่า S_{21} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	82
รูปที่ 4.88 แสดงค่า S_{31} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	82
รูปที่ 4.89 แสดงค่า S_{41} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	83
รูปที่ 4.90 แสดงค่า S_{42} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	83
รูปที่ 4.91 แสดงค่า S_{43} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	84
รูปที่ 4.92 แสดงค่า S_{32} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	84
รูปที่ 4.93 แสดงค่า เฟส S_{21} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	85
รูปที่ 4.94 แสดงค่า เฟส S_{31} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	85
รูปที่ 4.95 แสดงค่า เฟส S_{41} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	86
รูปที่ 4.96 แสดงค่า เฟส S_{42} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	86
รูปที่ 4.97 แสดงค่า เฟส S_{43} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	87
รูปที่ 4.98 แสดงค่า เฟส S_{32} ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ ที่มีการตัดมุม	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟมาใช้อย่างแพร่หลาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โครงการนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานในเทคโนโลยีไมโครเวฟ และทำการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทำการศึกษาอุปกรณ์ที่มีลักษณะการหักงอของมุม ซึ่งจะทำให้การตัดมุมของอุปกรณ์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อศึกษาว่าการตัดมุมในรูปแบบใดได้ผลดีที่สุด แล้วจึงนำมาสร้างข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา (quadrature 90° hybrid) และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ (cross overs) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม (microstrip 50 Ω)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการตัดมุมของไมโครสตริปในรูปแบบต่างๆ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบไมโครสตริปที่เป็นข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ
- 1.2.4 เพื่อทดสอบทฤษฎีการตัดมุมของไมโครสตริป และนำไปประยุกต์ใช้กับข้อต่อไฮบริดควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

1.3 ขอบเขตการทำงาน

- 1.3.1 ศึกษา และค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม
- 1.3.2 ออกแบบ และสร้างไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีลักษณะของการหักมุม
- 1.3.3 ศึกษาผลของการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ
- 1.3.4 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลในการออกแบบและสร้างข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ
- 1.3.5 จากทฤษฎีการตัดมุม นำไปประยุกต์ใช้ในการตัดมุมของข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่มีการตัดมุม และที่มีการตัดมุม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษา และทำการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม และทำการสร้าง
- 1.4.2 ทำการสร้างไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีลักษณะการหักมุม และทำการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ ทำการทดสอบผล และเปรียบเทียบผลที่ได้
- 1.4.3 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลในการออกแบบ และสร้างวงจรขั้วต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ
- 1.4.4 ทำการออกแบบ และสร้างวงจรขั้วต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณทั้งแบบที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุม เพื่อทำการทดสอบ
- 1.4.5 ทำการเปรียบเทียบผลของขั้วต่อไฮบริดแบบควอแดรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณทั้งแบบที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุม
- 1.4.6 สรุปผลการทดสอบ และเขียนรายงาน
- 1.4.7 นำเสนอโครงการ

บทที่ 2

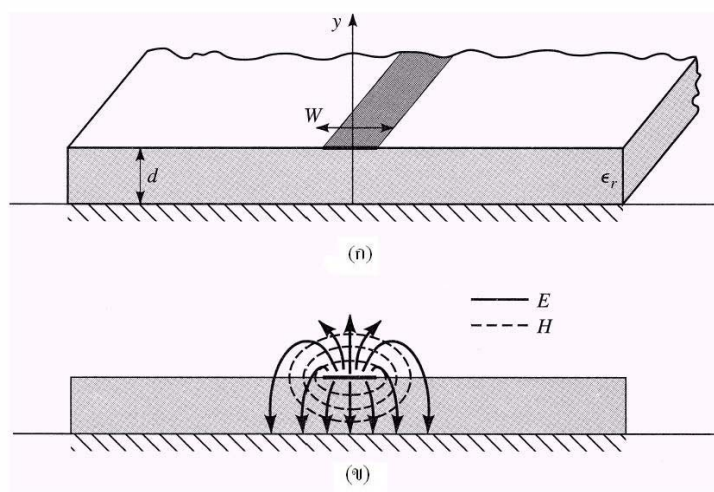
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการศึกษาลักษณะการตัดมุมของแถบไมโครสตริป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟนี้ เราได้ศึกษาการเดินทางของสัญญาณบนไมโครสตริป 50 โอห์ม ซึ่งเป็นไมโครสตริปแบบแท่ง จากนั้นจึงทำการศึกษาการเดินทางของสัญญาณในอุปกรณ์ไมโครเวฟที่ส่วนใหญ่จะมีการหักมุมคือ ข้อต่อไฮบริดแบบคอแอดเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองแบบนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีการหักมุมซึ่งทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ เราจึงทำการศึกษาเรื่องการตัดมุมของอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟ

2.2 ไมโครสตริป 50 โอห์ม

ไมโครสตริปเป็นสายส่งชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันเป็นจำนวนมาก เพราะสามารถทำการสร้างและนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ทางด้านไมโครเวฟที่เป็นพาสซีฟ (passive) และแอคทีฟ (active) ได้ง่าย รูปที่ 2.1(ก) แสดงถึงรูปทางเรขาคณิตของไมโครสตริปซึ่งมีตัวนำไฟฟ้าที่มีความกว้างเป็น w เป็นแผ่นบางๆ พิมพ์ลงบนฉนวนไฟฟ้าที่มีกรวดอยู่ชั้นล่างมีความหนาเป็น d ที่มีค่าสภาพยอมได้ (permittivity: ϵ_r) รูปที่ 2.1(ข) แสดงถึงเส้นสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าของไมโครสตริป



รูปที่ 2.1 สายส่งแบบไมโครสตริป (ก) รูปเรขาคณิต
(ข) เส้นสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

ในความเป็นจริงแล้วการมีอยู่ของฉนวนไฟฟ้าที่บริเวณเหนือบริเวณสตริป ($y > d$) มีเส้นแรงอยู่ภายในฉนวนไฟฟ้าเกือบจะทั้งหมด และจะมีอยู่ระหว่างตัวนำกับกราวด์ด้วยบางส่วน ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้ไมโครสตริปไม่สามารถรองรับ TEM wave ได้เนื่องจากมีความเร็วเฟสที่อยู่ในฉนวนไฟฟ้าเท่ากับ $c/\sqrt{\epsilon_r}$ แต่ความเร็วในอากาศมีค่าเท่ากับ c ดังนั้นความเร็วเฟสที่อยู่บริเวณผิวหน้าของฉนวนไฟฟ้ากับอากาศจึงไม่เป็นไปตาม TEM-type wave

ในไมโครสตริปประกอบไปด้วยคลื่นสนามไฟฟ้าและคลื่นสนามแม่เหล็ก แต่อย่างไรก็ตามฉนวนไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างจะต้องเป็นแบบที่บาง หรือ ($d \ll \lambda$) และสนามเป็น quasi-TEM ซึ่งค่าความเร็วเฟส และค่าคงที่การแผ่กระจายคลื่นสามารถแสดงเป็นสูตรได้ดังนี้ [1]

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.1)$$

$$\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_e} \quad (2.2)$$

เมื่อค่า ϵ_e คือ effective dielectric constant ของไมโครสตริป

c คือ ความเร็วแสงมีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

k_0 คือ wave number

เนื่องจากบางเส้นของสนามอยู่ในฉนวนไฟฟ้า แต่บางเส้นอยู่ในอากาศ ดังนั้นค่า ϵ_e จึงมีความสัมพันธ์ดังนี้ [1]

$$1 < \epsilon_e < \epsilon_r$$

และขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวนไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่าง (d) และความกว้างของตัวนำไฟฟ้า (W) สูตรของไมโครสตริปสำหรับ effective dielectric constant (ϵ_e), Characteristic impedance (Z_0) และ Attenuation (α) มีค่าดังนี้ [1]

หาค่า ϵ_e ได้จาก

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \quad (2.3)$$

หาค่า Z_0 ได้จาก

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{4d}{W} \right) & \text{เมื่อ } W/d \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} [W/d + 1.393 + 0.667 \ln(W/d + 1.444)]} & \text{เมื่อ } W/d \geq 1 \end{cases} \quad (2.4)$$

จากค่า Z_0 , ε_r จะหาค่า W/d ได้จาก

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} & \text{เมื่อ } W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\varepsilon_r-1}{2\varepsilon_r} \left\{ \ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r} \right\} \right] & \text{เมื่อ } W/d > 2, \end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}} + \frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r} \right)$$

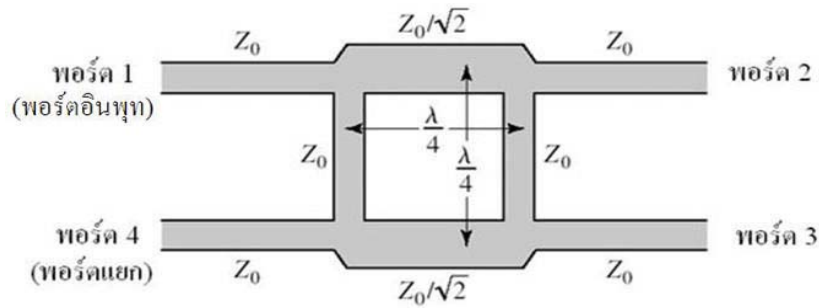
$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\varepsilon_r}}$$

2.3 ข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา

ข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อเกี่ยวกับทิศทาง ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามายังพอร์ตอินพุต และส่งออกไปยังพอร์ตเอาท์พุตอย่างเท่ากัน โดยพอร์ตเอาท์พุตทั้ง 2 จะมีความต่างเฟส 90 องศา พอร์ตที่อยู่ด้านเดียวกันกับพอร์ตอินพุตจะเป็นพอร์ตแยกเช่นเมื่อสัญญาณถูกส่งเข้ามายังพอร์ต 1 สัญญาณจะถูกส่งออกที่พอร์ต 2 และพอร์ต 3 อย่างเท่ากัน โดยสัญญาณที่พอร์ตทั้ง 2 นี้มีความต่างเฟส 90 องศา พอร์ต 4 เป็นพอร์ตแยก ไฮบริดชนิดนี้มักจะสร้างมาจากไมโครสตริป หรือสตริป ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และยังเป็นที่ยึดกันดีในชื่อของไฮบริดแบบบรานช์ไลน์ (branch-line hybrid) หรืออุปกรณ์เชื่อมต่อ 3 ดีบี (3 dB coupler) หรือ Lange coupler ในที่นี้เราจะทำการวิเคราะห์การดำเนินงานของข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ โดยใช้เทคนิคการจำแนกแบบคู่-คี่ ซึ่งคล้ายกับวิธีที่ใช้สำหรับวงจรแบ่งกำลังของวิลคินสัน (Wilkinson power divider)

จากรูปที่ 2.2 พื้นฐานการดำเนินงานของตัวเชื่อมต่อบรานช์ไลน์ (branch-line coupler) เป็นดังนี้ เมื่อพอร์ตทุกพอร์ตถูกแมตช์ไว้ และมีกำลังงานเข้าที่พอร์ต 1 กำลังงานจะถูกแบ่งไปยังพอร์ต 2 และพอร์ต 3 อย่างเท่ากัน และระหว่างเอาต์พุตนี้มีความต่างเฟส 90 องศา ซึ่งจะไม่มีการส่งกำลังงานออกที่พอร์ต 4 (พอร์ตแยก) แสดงในรูปของ เอส-เมตริกซ์ได้ดังนี้ [1]

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$



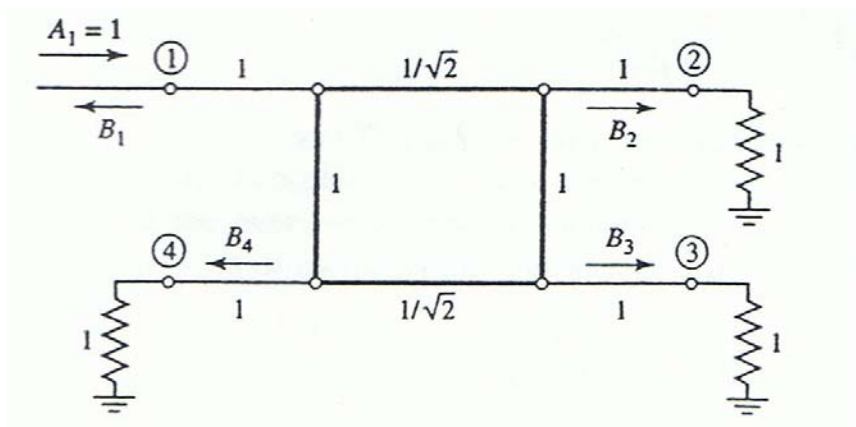
รูปที่ 2.2 รูปเรขาคณิตของตัวเชื่อมต่อแบบสี่พอร์ต

สังเกตเห็นว่าตัวเชื่อมต่อแบบสี่พอร์ตจะสมมาตรกัน แต่ละพอร์ตสามารถใช้เป็นอินพุตพอร์ตได้ และเอาต์พุตพอร์ตจะเป็นพอร์ตที่อยู่ตรงกันข้ามกับพอร์ตที่เป็นอินพุตพอร์ตเสมอ ส่วนพอร์ตแยกยังคงเป็นพอร์ตที่อยู่ด้านเดียวกันกับพอร์ตที่เป็นอินพุตพอร์ต

การวิเคราะห์แบบคู่-คี่

ในขั้นแรกเราแสดงวงจรโครงสร้างของตัวเชื่อมต่อแบบสี่พอร์ตในรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นที่เข้าใจว่าแต่ละเส้นแสดงถึงความเป็นสายส่งที่เป็นสายส่งคลื่นลักษณะ (Z_0) เราสมมติให้คลื่นเข้ามาที่พอร์ต 1 มีขนาด $A_1=1$

ขณะนี้งจรรูปที่ 2.3 สามารถแยกไปเป็นการซ้อนทับของภาวะการกระตุ้นแบบคู่ และภาวะการกระตุ้นแบบคี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สังเกตเห็นว่าภาวะการกระตุ้นทั้ง 2 แบบ ทำให้เกิดภาวะการกระตุ้นเช่นเดียวกับรูปที่ 2.3 เนื่องจากวงจรเป็นเชิงเส้น ดังนั้นผลตอบสนองตามความเป็นจริงสามารถแทนด้วยการนำผลตอบสนองทั้งภาวะการกระตุ้นคู่และคี่มาบวกกัน



รูปที่ 2.3 ตัวเชื่อมต่อแบบสี่พอร์ตในรูปแบบมาตรฐาน

เนื่องจากแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบสำหรับวงจรทวิพอร์ตนี้ คือ $\pm 1/2$ ซึ่งแอมพลิจูดของคลื่นที่ปรากฏออกมาที่แต่ละพอร์ตของตัวเชื่อมต่อแบบสี่พอร์ตสามารถอยู่ในรูปดังนี้ [1]

$$B_1 = \frac{1}{2}\Gamma_e + \frac{1}{2}\Gamma_0 \quad (2.7)$$

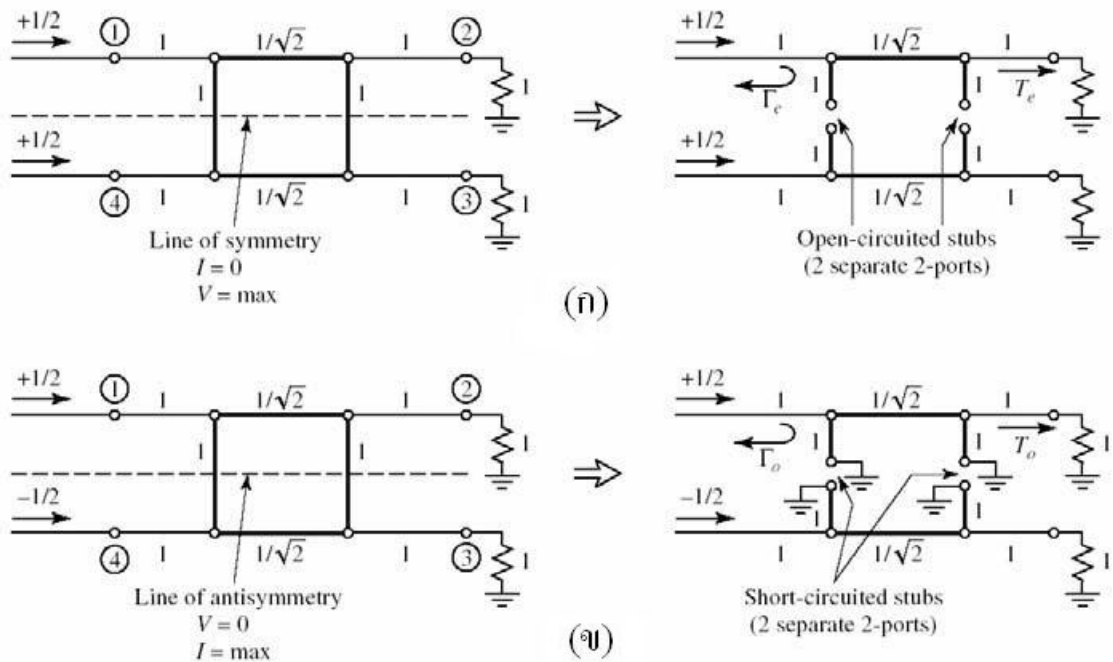
$$B_2 = \frac{1}{2}T_e + \frac{1}{2}T_0 \quad (2.8)$$

$$B_3 = \frac{1}{2}T_e - \frac{1}{2}T_0 \quad (2.9)$$

$$B_4 = \frac{1}{2}\Gamma_e - \frac{1}{2}\Gamma_0 \quad (2.10)$$

โดยที่ $\Gamma_{e,0}$ และ $T_{e,0}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งทั้งแบบคู่และคี่ สำหรับโครงข่ายสองพอร์ตของรูปที่ 2.4 ในขั้นแรกเราพิจารณาการคำนวณค่า T_e และ T_0 สำหรับวงจรสองพอร์ตแบบคู่ โดยใช้ ABCD เมตริกซ์ [1] กำหนด

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j & 1 \end{bmatrix}_{\substack{\text{Shunt} \\ Y=j}} \begin{bmatrix} 0 & j/\sqrt{2} \\ j/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix}_{\substack{\lambda/4 \\ \text{Transmission} \\ \text{line}}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j & 1 \end{bmatrix}_{\substack{\text{Shunt} \\ Y=j}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & j \\ j & -1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.4 การสลายตัวของคัพเชื่อมต่อบรานซ์ไลน์ ไปเป็นภาวะการกระตุ้นแบบคู่และคี่
(ก) แบบคู่ (e) (ข) แบบคี่ (o)

ซึ่งแต่ละเมตริกซ์สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 และค่าแอดมิตแตนซ์ของวงจรแบ่งไฟฟ้าแบบเปิด $\lambda/8$ มีค่า $Y = j \tan \beta l = j$ เราสามารถใช้ตารางที่ 2.2 ในการแปลงจาก พารามิเตอร์แบบเอบี

ซีดี เป็นพารามิเตอร์แบบเอส ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่ง ดังนี้ [1]

$$\Gamma_e = \frac{A+B-C-D}{A+B+C+D} = \frac{(-1+j-j+1)/\sqrt{2}}{(-1+j+j-1)/\sqrt{2}} = 0 \quad (2.12)$$

$$T_e = \frac{2}{A+B+C+D} = \frac{2}{(-1+j+j-1)/\sqrt{2}} = \frac{-1}{\sqrt{2}}(1+j) \quad (2.13)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับแบบคี่เราแทน [1]

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & j \\ j & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งเป็นดังนี้ [1]

$$\Gamma_0 = 0 \quad (2.15)$$

$$T_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(1-j) \quad (2.16)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) และ (2.16) ลงในสมการ (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) จะได้ผลดังนี้ [1]

$$B_1 = 0 \quad (2.17)$$

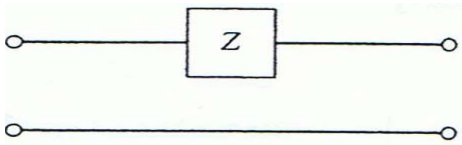
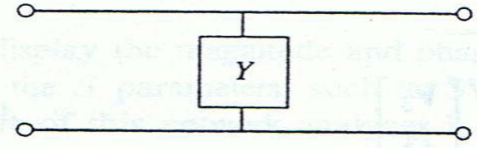
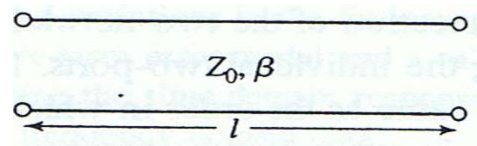
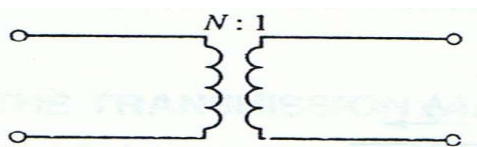
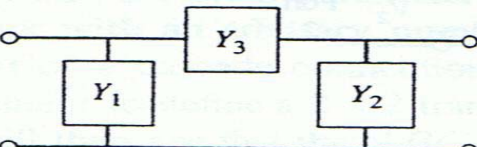
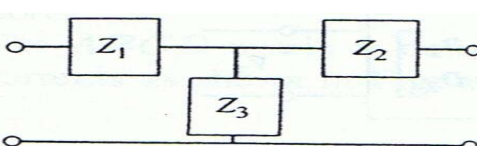
$$B_2 = -\frac{j}{\sqrt{2}} \quad (2.18)$$

$$B_3 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.19)$$

$$B_4 = 0 \quad (2.20)$$

ซึ่งผลเหล่านี้ตรงกับแถวและหลักแรกของพารามิเตอร์แบบเอส ที่แสดงในสมการ(2.6)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์แบบเอบีซีดี ที่เป็นประโยชน์ต่อวงจรสองพอร์ต์

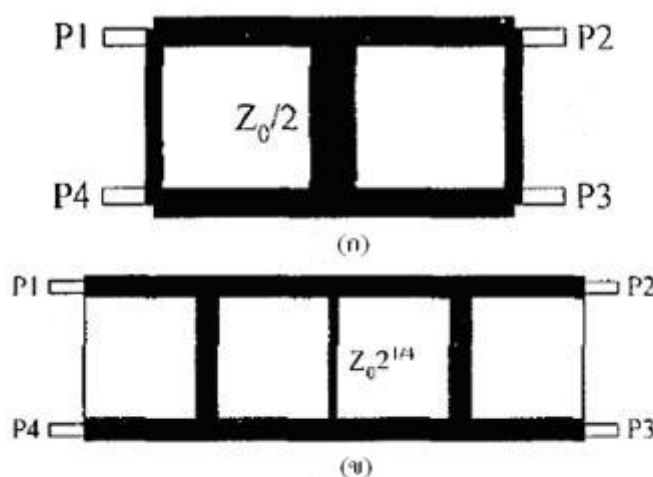
Circuit	ABCD Parameter
	$A = 1$ $B = Z$ $C = 0$ $D = 1$
	$A = 1$ $B = 0$ $C = Y$ $D = 1$
	$A = \cos \beta l$ $B = jZ_0 \sin \beta l$ $C = jY_0 \sin \beta l$ $D = \cos \beta l$
	$A = N$ $B = 0$ $C = 0$ $D = \frac{1}{N}$
	$A = 1 + \frac{Y_2}{Y_3}$ $B = \frac{1}{Y_3}$ $C = Y_1 + Y_2 + \frac{Y_1 Y_2}{Y_3}$ $D = 1 + \frac{Y_1}{Y_3}$
	$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}$ $B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$ $C = \frac{1}{Z_3}$ $D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$

ตารางที่ 2.2 ตารางการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ระหว่างระบบสองพอร์ต

	S	Z	Y	$ABCD$
S_{11}	S_{11}	$\frac{(Z_{11}-Z_0)(Z_{22}+Z_0)-Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$	$\frac{(Y_0-Y_{11})(Y_0+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}{\Delta Y}$	$\frac{A+B/Z_0-CZ_0-D}{A+B/Z_0+CZ_0+D}$
S_{12}	S_{12}	$\frac{2Z_{12}Z_0}{\Delta Z}$	$\frac{-2Y_{12}Y_0}{\Delta Y}$	$\frac{2(AD-BC)}{A+B/Z_0+CZ_0+D}$
S_{21}	S_{21}	$\frac{2Z_{21}Z_0}{\Delta Z}$	$\frac{-2Y_{21}Y_0}{\Delta Y}$	$\frac{2}{A+B/Z_0+CZ_0+D}$
S_{22}	S_{22}	$\frac{(Z_{11}+Z_0)(Z_{22}-Z_0)-Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$	$\frac{(Y_0+Y_{11})(Y_0-Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}{\Delta Y}$	$\frac{-A+B/Z_0-CZ_0+D}{A+B/Z_0+CZ_0+D}$
Z_{11}	$Z_0 \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	Z_{11}	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$
Z_{12}	$Y_0 \frac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	Z_{12}	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{AD-BC}{C}$
Z_{21}	$Y_0 \frac{2S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	Z_{21}	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$
Z_{22}	$Z_0 \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	Z_{22}	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{D}{C}$
Y_{11}	$Y_0 \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	Y_{11}	$\frac{D}{B}$
Y_{12}	$Y_0 \frac{-2S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	Y_{12}	$\frac{BC-AD}{B}$
Y_{21}	$Y_0 \frac{-2S_{12}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	Y_{21}	$\frac{-1}{B}$
Y_{22}	$Y_0 \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	Y_{22}	$\frac{A}{B}$
A	$\frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{Z_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{21}}$	A
B	$Z_0 \frac{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	B
C	$\frac{1}{Z_0} \frac{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	C
D	$\frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	D
$ Z = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}$; $ Y = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}$; $\Delta Y = (Y_{11}+Y_0)(Y_{22}+Y_0) - Y_{12}Y_{21}$; $\Delta Z = (Z_{11}+Z_0)(Z_{22}+Z_0) - Z_{12}Z_{21}$; $Y_0 = 1/Z_0$				

2.4 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกสัญญาณ ซึ่งไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณนี้เป็นการนำข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา 2 ตัวมาเชื่อมต่อกันจะได้เป็นไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณชนิด narrow band [2] โดยหน้าที่หลักของไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณคือ จะทำหน้าที่ในการไขว้สัญญาณที่ถูกส่งเข้ามา เช่น เมื่อมีสัญญาณเข้าที่พอร์ต 1 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณจะบังคับให้สัญญาณไปออกที่พอร์ต 3 มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ส่วนที่พอร์ต 2 และพอร์ต 4 เป็นพอร์ตที่ไม่ควรมีสัญญาณออก หรือให้สัญญาณออกน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และในทำนองเดียวกัน เมื่อมีสัญญาณเข้าที่พอร์ต 2 ไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณจะบังคับให้สัญญาณไปออกที่พอร์ต 4 มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ส่วนที่พอร์ต 1 และพอร์ต 3 เป็นพอร์ตที่ไม่ควรมีสัญญาณออก หรือให้สัญญาณออกน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ (ก) โครงสร้างแบบ narrow band
(ข) โครงสร้างแบบ wide band

เมื่อพิจารณาถึง Lange coupler (รูปที่ 2.6) ซึ่งใช้โปรแกรม ADS ในการออกแบบ เพื่อให้ได้การเชื่อมต่อที่แน่นอนระหว่างพอร์ต 1 และพอร์ต 2 ซึ่งพอร์ต 2 สามารถพิจารณาเป็นพอร์ตแยกจากอินพุตที่พอร์ต 1 และส่วนที่เหลือของสัญญาณ ซึ่งเดินทางไปยังพอร์ต 3 เป็นสัญญาณที่มีความแรงมาก เนื่องจากพอร์ต 1 และพอร์ต 4 เป็นพอร์ตแยก ซึ่งที่กล่าวมาถือว่าเป็นไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณที่ดี

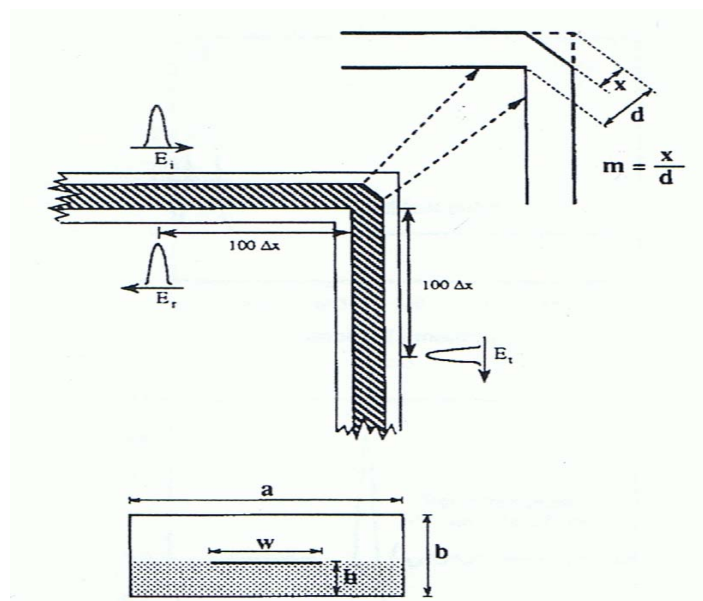


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Lange Coupler ซึ่งใช้เช่นเดียวกับไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

2.5 การแสดงลักษณะเฉพาะของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา และที่มีการตัดมุม

อุปกรณ์ไมโครเวฟที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะมีการหักมุม ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ เราจึงทำการศึกษาผลกระทบดังกล่าวนี้ เพื่อการออกแบบอุปกรณ์ให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

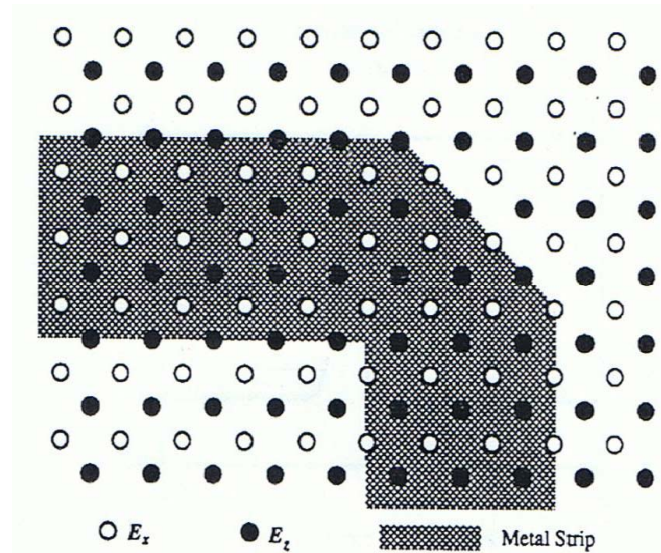
จากบทความที่เราศึกษานี้ ได้มีผู้ค้นคว้าเกี่ยวกับการแสดงลักษณะเฉพาะของไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดโดเมนเวลา (Finite-Difference Time-Domain: FDTD) [3], [4] ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์ปฏิกิริยาระหว่างกันของคลื่นที่ซับซ้อน



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของระยะการตัดมุมของไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการตัดมุมไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา โดยแสดงความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m) ดังรูป คือ $m = \frac{x}{d}$ เมื่อ x คือ ระยะที่วัด

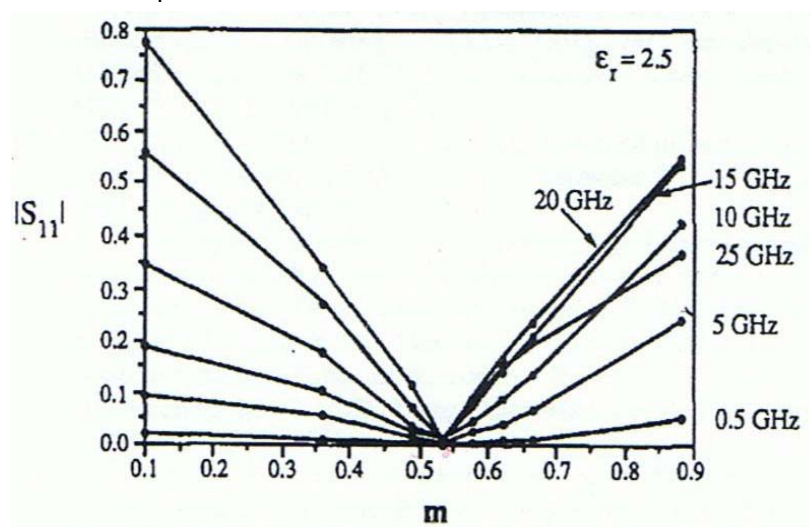
จากจุดที่ทำการตัดจนถึงมุมนอกสุดของมุมแหลม และ d คือ ระยะที่วัดจากมุมในสุดของมุมแหลม จนถึงมุมนอกสุดของมุมแหลม



รูปที่ 2.8 รายละเอียดของการกำหนดจุดของสนามไฟฟ้าบนสตริปโลหะ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงสนามไฟฟ้าบนสตริปโลหะ เมื่อ E_x คือ สนามไฟฟ้าในแนวแกน x และ E_z คือสนามไฟฟ้าในแนวแกน z

จากการศึกษาการตัดมุมเข้าไปในไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศาเป็นวิธีที่รู้จักกันดี สำหรับการปรับปรุงการสะท้อนที่มีสาเหตุมาจากมุมที่แหลมคม [5] Campbell และ Jones [6] ได้ค้นคว้าการตัดมุมไมโครสตริปที่มีพารามิเตอร์เป็นสัดส่วนของ ความกว้างและความสูงดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นการเลือกระยะการตัด (m) และได้แสดงให้เห็นถึงระยะการตัดขนาดที่ดีที่สุดที่ทำให้เกิดการสะท้อนน้อยที่สุด



รูปที่ 2.9 ค่าขนาดของ S_{11} เทียบกับความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m)

ความสัมพันธ์ของระยะการตัด (m) = $\frac{x}{d}$ โดยที่ x และ d เป็นระยะที่แสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อนำค่า S_{11} ของไมโครสตริปที่มีค่า $\epsilon_r = 2.5$ ซึ่งได้ทำการตัดมุมที่ระยะการตัดต่างๆ มาพล็อตกราฟเทียบกับค่าความสัมพันธ์ของระยะการตัด จะได้รูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากกราฟที่ได้เราสรุปได้ว่าค่าความสัมพันธ์ของระยะการตัดที่ให้ผลดีที่สุด คือ $m = 0.53$

จากการศึกษาในบทความนี้ เราสามารถสรุปได้ว่า การตัดมุมของไมโครสตริปที่มีการหักงอ 90 องศา เป็นวิธีที่ช่วยในการแก้ปัญหาเรื่องความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ ซึ่งการตัดมุมนั้นควรเลือกระยะของการตัดที่เหมาะสม ในที่นี้ระยะของการตัดที่ได้ผลที่ดีที่สุดคือ $m = 0.53$ บทสรุปของบทความนี้ จะเห็นว่าการตัดมุมไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา เป็นการช่วยแก้ปัญหาเรื่องความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ แต่จากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ไมโครเวฟ อาทิ เช่น Microwave Office ได้มีการทำแถบไมโครสตริปแบบหักมุม 90 องศา แต่ตัดมุมด้วยระยะ $m = 0.5$ เท่านั้น ซึ่งไม่ตรงกับผลลัพธ์ที่ได้จากบทความที่อ้างถึงระยะ $m = 0.53$ เราจึงทำการศึกษาเรื่องการตัดมุมไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ พร้อมทั้งทำการออกแบบไมโคร-สตริปที่มีมุมหักงอและทำการตัดมุมที่ระยะต่างๆ วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ เพื่อทดสอบทฤษฎีการตัดมุมของไมโครสตริป และนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบอุปกรณ์ทางด้านไมโครเวฟ เช่น ไมโครสตริปแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.6 สรุป

ในบทนี้เราได้แสดงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของในโครงการเรื่องการศึกษาการตัดมุมของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไมโครเวฟ โดยเริ่มจากการศึกษาวิธีการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม เพื่อนำไปสร้างและวัดผล จากนั้นเราได้ศึกษามุมการแสดงลักษณะเฉพาะของแถบไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา และที่มีการตัดมุมเพื่อทดสอบทฤษฎีการตัดมุมของไมโครสตริป และนำไปประยุกต์ใช้กับข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

บทที่ 3

การออกแบบ และการสร้าง

3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม เพื่อศึกษาคุณสมบัติของการเดินทางของสัญญาณจากนั้นทำการออกแบบ และสร้างไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ยังไม่มี การตัดมุมและมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ เพื่อทดสอบทฤษฎีการตัดมุม เมื่อได้ผลสรุปจากการทดสอบทฤษฎีการตัดมุมแล้ว จึงนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไมโครเวฟ คือข้อต่อไฮบริดแบบควอดเรเจอร์ 90 องศา และไมโครสตริปแบบไขว้สัญญาณ

3.2 การออกแบบ และการสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม

เราทำการศึกษาวิธีการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม จากนั้นทำการออกแบบ และสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่ความถี่ 2.2 GHz บน substrate ที่มีค่า $\epsilon_r = 4.5$ จากนั้นทำการออกแบบ และสร้างไมโครสตริปที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ยังไม่มี การตัดมุมและมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ

3.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม

เราทำการศึกษาคุณสมบัติของการเดินทางของสัญญาณบนแถบไมโครสตริปโดยใช้ไมโครสตริป 50 โอห์มเป็นพื้นฐานในการทดสอบ ในวิธีการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม ($Z_0 = 50$), ความยาว (l) = λ , substrate มีค่า permittivity (ϵ_r) = 4.5, ความหนาของไดอิเล็กทริกซ์ (d) = 1.67 mm ที่ความถี่ 2.2 GHz

เราสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ในการหาค่าความกว้างของไมโครสตริป (W) เราใช้สมการ (2.5) จะได้ว่า

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{เมื่อ } W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{เมื่อ } W/d > 2, \end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \\
 &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.5 + 1}{2}} + \frac{4.5 - 1}{4.5 + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.5} \right) \\
 &= 1.38 + 0.16 \\
 &= 1.54
 \end{aligned}$$

แทนค่า A ลงในสมการ (2.5) เพื่อตรวจสอบเงื่อนไข

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^{1.54}}{e^{2(1.54)} - 2}$$

$$= 1.88$$

$$\frac{W}{d} < 2$$

จะเห็นว่า $\frac{W}{d} < 2$ เป็นไปตามเงื่อนไข

$$\begin{aligned}
 \therefore W &= 1.88 \times d \\
 &= 1.88 \times 1.67 \text{ mm} \\
 &= 3.14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

หาค่าความยาวของไมโครสตริป (l) = λ

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e} f}$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วแสงมีค่า 3×10^8 m/s

ϵ_e คือ effective dielectric constant

f คือ ความถี่

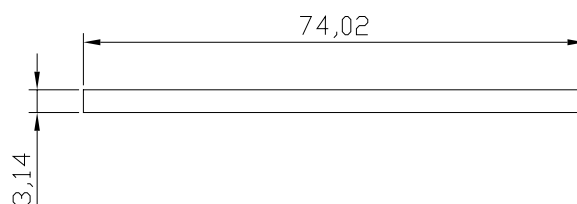
หาค่า ϵ_e จากสมการ (2.3) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \\
 &= \frac{4.5 + 1}{2} + \frac{4.5 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12(1.67/3.14)}} \\
 &= 3.39
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

แทนค่า ϵ_e เพื่อหาค่าความยาว $l = \lambda$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{3.39} \times (2.2 \times 10^9)} \\
 &= 0.07402 \\
 &= 74.02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ได้ เราใช้โปรแกรม AutoCAD ในการวาดแบบเพื่อทำการสร้างอุปกรณ์จริงได้ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ไมโครสตริป 50 โอห์ม

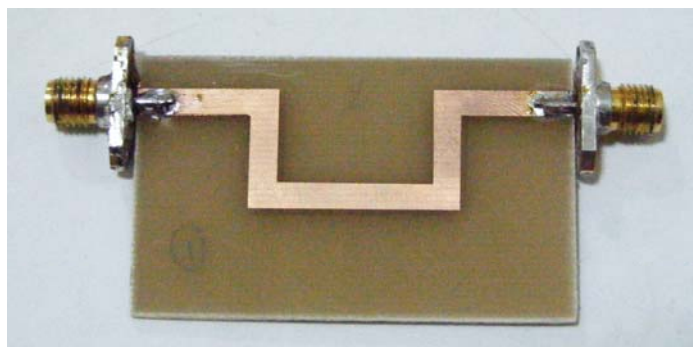
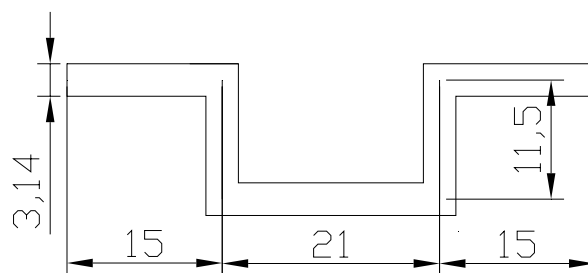
จากการออกแบบไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่มีความยาวของแถบไมโครสตริป 74.02 mm ความกว้าง 3.14 mm นำขนาดที่ได้ไปวาดแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD แล้วจึงลอกลายลงแผ่น substrate เพื่อนำแผ่น substrate ที่ได้นำไปกัดลาย จากนั้นนำแถบไมโครสตริปที่กัดลายเรียบร้อยแล้ว มาเชื่อมหัวต่อ SMA ขนาด 50 โอห์มด้วยการบัดกรีด้านหน้าเชื่อมกับแถบไมโครสตริปและเชื่อมด้านหลังเพื่อเป็นกราวด์

3.2.2 การออกแบบ การสร้างไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม และมีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ

จากการศึกษาการออกแบบ และการสร้างไมโครสตริป 50 โอห์ม เรานำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้มาออกแบบให้เป็นไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม และที่มีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ เพื่อทำศึกษาคุณสมบัติของการเดินทางของสัญญาณ และเพื่อทดสอบทฤษฎีการตัดมุม ดังนี้

- ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม

จากผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของไมโครสตริป 50 โอห์มก่อนหน้านี้ แถบไมโครสตริปมีความกว้าง 3.14 mm และมีความยาว $\lambda = 74.02$ mm เราทำการลดขนาดของอุปกรณ์โดยทำแถบไมโครสตริปให้มีมุมหักงอ 90 องศา ดังนี้

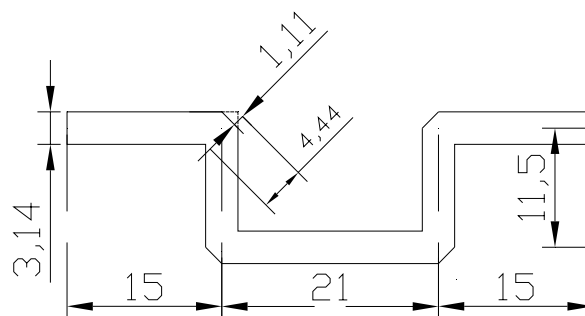


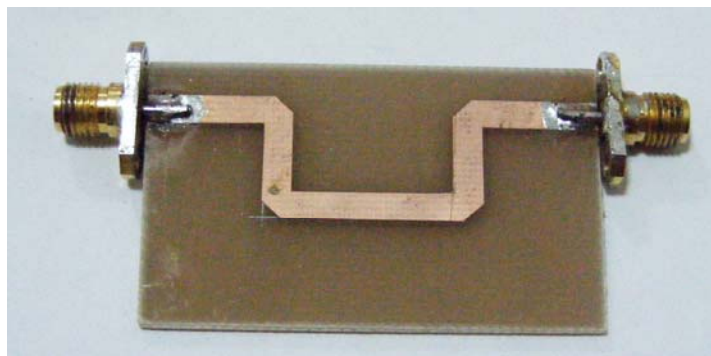
รูปที่ 3.2 ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ไม่มีการตัดมุม

ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่ยังไม่มีการตัดมุมใดๆเลย มีขนาดความยาวทั้งแผ่นไมโครสตริป 51 mm ซึ่งจะเห็นว่ามีความเล็กกลง แต่ยังคงมีความยาวของแถบไมโครสตริป 74.02 mm ความกว้าง 3.14 mm ขนาดของแขนแต่ละข้างมีความยาว 15 mm มีความยาวช่วงกลาง 21 mm นำขนาดที่ได้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์จริงเพื่อใช้ในการทดสอบ

- ไมโครสตริป 50 โอห์มที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมในรูปแบบต่างๆ

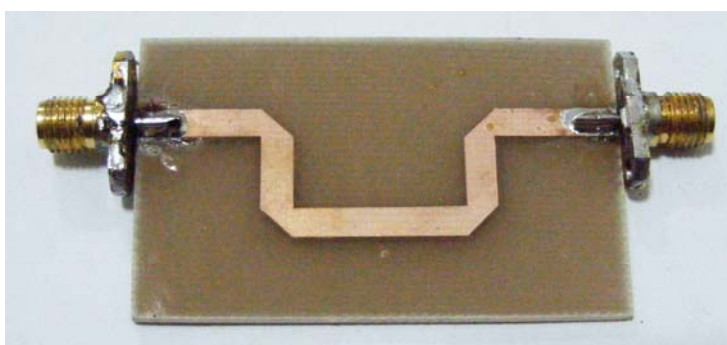
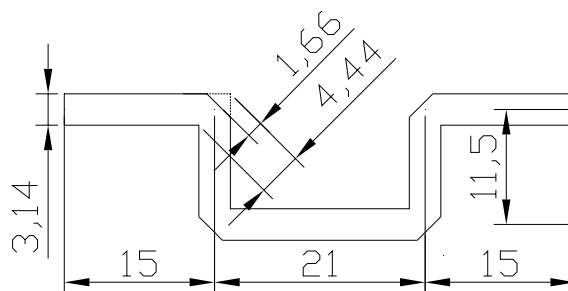
การทำไมโครสตริปให้มีมุมหักงอ 90 องศาเป็นการช่วยลดขนาดของอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แต่ในขณะเดียวกันการที่ไมโครสตริปมีมุมหักงอ 90 องศา นั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ เราจึงทำการศึกษาเรื่องการตัดมุมของแถบไมโครสตริปในรูปแบบต่างๆ ดังนี้





รูปที่ 3.3 ไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่
ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.25$

ไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่มีมุมหักงอ 90 องศา ขนาดของแขนแต่ละข้างมีความยาว 15 mm มีความยาวช่วงกลาง 21 mm ซึ่งมีการตัดมุมทั้งด้านนอกและด้านในเป็นระยะ $x = 1.11 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$ ดังนั้น อัตราส่วนของระยะการตัด $m = 0.25$ เป็นอัตราส่วนของระยะการตัดที่น้อยที่สุด จากนั้นเรานำขนาดที่ได้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์จริงเพื่อใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.4 ไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่มีมุมหักงอ 90 องศา ที่มีการตัดมุมที่
ระยะ $x = 1.11 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$, $m = 0.37$

ไมโครสตริป 50 โอห์ม ที่มีมุมหักงอ 90 องศา ขนาดของแขนแต่ละข้างมีความยาว 15 mm มีความยาวช่วงกลาง 21 mm ซึ่งมีการตัดมุมทั้งด้านนอกและด้านในเป็นระยะ $x = 1.66 \text{ mm}$, $d = 4.44 \text{ mm}$ ดังนั้น อัตราส่วนของระยะการตัด $m = 0.37$ เป็นอัตราส่วนของระยะการตัดที่มากกว่าการตัดมุมที่ระยะ $m = 0.25$ อยู่เล็กน้อย จากนั้นเรานำขนาดที่ได้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์จริงเพื่อใช้ในการทดสอบ

